

**TREATMENT METHOD FOR METAL MEMBER**

**Patent number:** JP2001314981  
**Publication date:** 2001-11-13  
**Inventor:** NOMURA SEIJI; GENDO TOSHIYUKI  
**Applicant:** MAZDA MOTOR CORP  
**Classification:**  
- international: B23K20/12  
- european:  
**Application number:** JP20000130039 20000428  
**Priority number(s):**

Also published as:

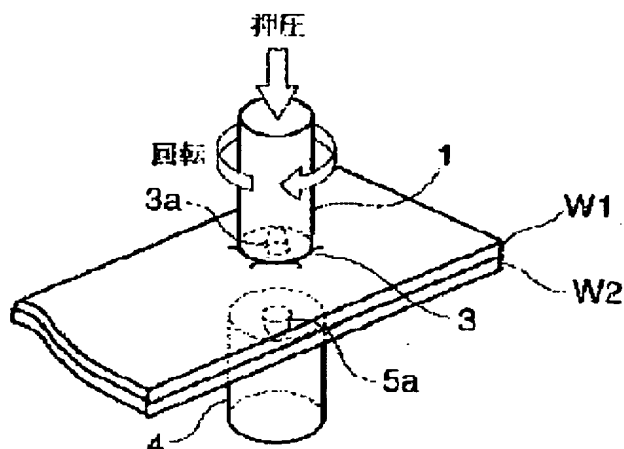
WO0183153 (A1)  
EP1189723 (A1)  
US2002158109 (A1)  
CN1206078C (C)

[Report a data error here](#)

**Abstract of JP2001314981**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To connect firmly metal members together without occurring a thermal strain or a welding trace.

**SOLUTION:** By pressing a rotational tool 1 to a first metal member W1 at the outer most surface with at least two metal members lapped the metal structure between the first and second lap metal members W1, W2 lapped is agitated in a nonmelting state by frictional heat to be connected.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Patent Abstracts of Japan

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-314981  
(P2001-314981A)

(43) 公開日 平成13年11月13日 (2001. 11. 13)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード <sup>*</sup> (参考)
B 2 3 K 20/12	3 1 0	B 2 3 K 20/12	3 1 0 4 E 0 6 7

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2000-130039(P2000-130039)

(22) 出願日 平成12年4月28日(2000. 4. 28)

(71) 出願人 000003137

マツダ株式会社

広島県安芸郡府中町新地3番1号

(72) 発明者 野村 誠治

広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ株式会社内

(72) 発明者 玄道 俊行

広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ株式会社内

(74) 代理人 100076428

弁理士 大塚 康徳 (外2名)

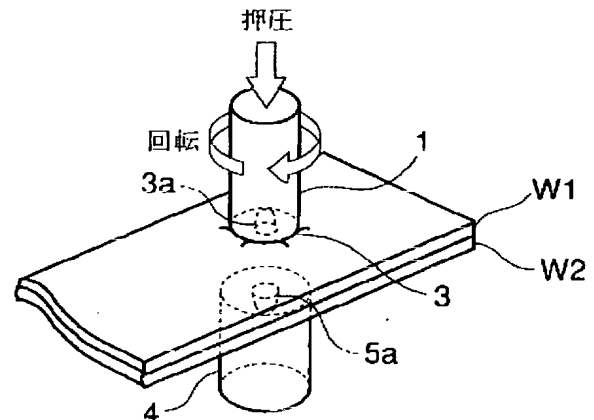
Fターム(参考) 4E067 AA05 BG00 CA04 EC01

(54) 【発明の名称】 金属部材の処理方法

(57) 【要約】

【課題】 熱歪みや溶接跡を発生させずに、金属部材同士を強固に接合する。

【解決手段】 少なくとも2枚の金属部材を重ね合わせて、最外表面の第1金属部材W1に回転工具1を押圧することにより、重ね合わされた第1及び第2金属部材W1、W2間の金属組織を摩擦熱により非溶融で攪拌して接合する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも2枚の金属部材を重ね合わせ、平面状の回転子の先端を第1金属部材の表面に押圧し、前記回転子を回転させ、前記第1金属部材の接合部分を非溶融の状態では摩擦により攪拌させて非溶融攪拌層を形成すると共に、第2金属部材にまで非溶融攪拌層を拡大して、該第1及び第2金属部材を接合することを特徴とする金属部材の処理方法。

【請求項2】 前記回転子の先端に凹部を形成したことを特徴とする請求項1に記載の金属部材の処理方法。

【請求項3】 前記第1及び第2金属部材を介して前記回転子の先端に対向するよう配置される受け部材を備え、該受け部材の先端に凹部を形成したことを特徴とする請求項1又は2に記載の金属部材の処理方法。

【請求項4】 前記第1及び第2金属部材を介して前記回転子の先端に対向するよう配置される回転子を更に設け、2つの回転子の先端で前記第1及び第2金属部材を挟み込みながら各回転子を逆回転させることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の金属部材の処理方法。

【請求項5】 前記回転子を移動させて連続的に接合させることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の金属部材の処理方法。

【請求項6】 前記回転子の先端は、薄肉側の金属部材から押圧することを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載の金属部材の処理方法。

【請求項7】 平面状の回転子の先端を金属部材の表面に押圧し、前記回転子を回転させ、前記金属部材を非溶融状態で摩擦により攪拌させて、該金属部材の表面を改質することを特徴とする金属部材の処理方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、アルミニウム合金製鋳物や板材等の金属部材の処理方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来の接合技術は、板材や予め3次元形状にプレス成形された金属部材を重ね合わせ、電気抵抗溶接やアーク溶接、接着剤、ボルト締結、リベット等によって接合している。

【0003】そして、金属部材が複雑な3次元形状の場合、複数点に在る接合部分に対して局所的に接合できるスポット溶接が用いられる。

【0004】また、他の接合技術として、非溶融の状態では摩擦攪拌する接合方法が特許第2712838号公報に開示されている。この接合技術は、2つの部材を突き合わせた接合面にプローブと呼ばれる突起部を回転させながら挿入及び並進させ、接合面近傍の金属組織を摩擦熱により可塑化させて結合するものである。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記公報に記載の接合技術では、金属部材の表面にプローブを差し込んで移動させるため、プローブの移動軌跡における始点及び終点にプローブを抜き差しした溶接跡（穴）が残ってしまう。このため、溶接跡が見える部位には用いることができないという外観上の問題や、後処理で溶接跡を取り除けるように予め余肉部を形成し、この余肉部にプローブの移動始点及び終点を持ってくるという工夫が必要であったり、溶接跡が残る場合には金属部材の疲労強度が低下するという問題がある。

【0006】本発明は、上記課題に鑑みてなされ、その目的は、熱歪みや溶接跡を発生させずに、金属部材同士を強固に接合できる金属部材の処理方法を提供することである。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】上述の課題を解決し、目的を達成するために、本発明の金属部材の処理方法は、少なくとも2枚の金属部材を重ね合わせ、平面状の回転子の先端を第1金属部材の表面に押圧し、前記回転子を回転させ、前記第1金属部材の接合部分を非溶融の状態では摩擦により攪拌させて非溶融攪拌層を形成すると共に、第2金属部材にまで非溶融攪拌層を拡大して、該第1及び第2金属部材を接合する。

【0008】また、好ましくは、前記回転子の先端に凹部を形成した。

【0009】また、好ましくは、前記第1及び第2金属部材を介して前記回転子の先端に対向するよう配置される受け部材を備え、該受け部材の先端に凹部を形成した。

【0010】また、好ましくは、前記第1及び第2金属部材を介して前記回転子の先端に対向するよう配置される回転子を更に設け、2つの回転子の先端で前記第1及び第2金属部材を挟み込みながら各回転子を逆回転させる。

【0011】また、好ましくは、前記回転子を移動させて連続的に接合させる。

【0012】また、好ましくは、前記回転子の先端は、薄肉側の金属部材から押圧する。

【0013】また、本発明の金属部材の処理方法は、平面状の回転子の先端を金属部材の表面に押圧し、前記回転子を回転させ、前記金属部材を非溶融状態で摩擦により攪拌させて、該金属部材の表面を改質する。

## 【0014】

【発明の効果】以上説明のように、請求項1の発明によれば、少なくとも2枚の金属部材を重ね合わせ、平面状の回転子の先端を第1金属部材の表面に押圧し、回転子を回転させ、第1金属部材の接合部分を非溶融の状態では摩擦により攪拌させて非溶融攪拌層を形成すると共に、第2金属部材にまで非溶融攪拌層を拡大して、第1及び

第2金属部材を接合することにより、熱歪みや溶接跡を発生させずに、金属部材同士を強固に接合できる。

【0015】請求項2の発明によれば、回転子の先端に凹部を形成したことにより、第1及び第2金属部材の攪拌性を高めることができる。

【0016】請求項3の発明によれば、第1及び第2金属部材を介して回転子の先端に対向するよう配置される受け部材を備え、受け部材の先端に凹部を形成したことにより、第1及び第2金属部材の攪拌性を高めることができる。

【0017】請求項4の発明によれば、第1及び第2金属部材を介して回転子の先端に対向するよう配置される回転子を更に設け、2つの回転子の先端で第1及び第2金属部材を挟み込みながら各回転子を逆回転させることにより、接合時間を短縮化できると共に、総板厚が大きい場合や重ね合わせ枚数が多い場合でも良好に接合できる。

【0018】請求項5の発明によれば、回転子を移動させて連続的に接合させることにより、熱歪みや溶接跡を発生させずに、金属部材同士を強固に接合できる。

【0019】請求項6の発明によれば、回転子の先端は、薄肉側の金属部材から押圧することにより、第1金属部材から第2金属部材への非溶融攪拌層の拡大を早めることができる。

【0020】請求項7の発明によれば、平面状の回転子の先端を金属部材の表面に押圧し、回転子を回転させ、金属部材を非溶融状態で摩擦により攪拌させて、金属部材の表面を改質することにより、金属組織の微細化や鑄造欠陥の減少を図り、熱疲労（低サイクル疲労）寿命や伸び、耐衝撃性等の材料特性を向上することができる。

【0021】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の実施の形態について、添付図面を参照して詳細に説明する。

【0022】図1は、本発明に係る実施形態の重ね合わせ接合方法を説明する回転工具付近の拡大図である。

【0023】本実施形態の接合方法は、アルミニウム合金製の板材や予め3次元形状にプレス成形された金属部材の接合に適用され、少なくとも2枚の金属部材を重ね合わせて、最外表面の第1金属部材W1に回転工具1を押圧することにより、重ね合わされた第1及び第2金属部材W1、W2間の金属組織を摩擦熱により非溶融で攪拌して接合するものである。

【0024】そして、非溶融で攪拌するので、電気抵抗溶接等で発生する熱歪み等の問題を解消することができる。

【0025】ここで、非溶融で攪拌する状態とは、母材に含有される各成分或いは共晶化合物の中で最も融点が高いものよりもさらに低い温度下で摩擦熱により金属組織を軟化させて攪拌することを意味する。

【0026】図1に示すように、摩擦攪拌による接合方

法は、少なくとも2枚の金属部材W1、W2を重ね合わせ、先端部3が平面状の円筒状の回転工具1を、その軸心周りに回転させながら、先端部3を最外表面の第1金属部材W1に押し付けて、第1金属部材W1、W2を非溶融状態で摩擦により攪拌させて非溶融攪拌層を形成すると共に、第2金属部材W2にまで非溶融摩擦攪拌層を拡大して第1及び第2金属部材W1、W2を接合する。

【0027】また、第1及び第2金属部材W1、W2を挟むように回転工具1の先端部3に対向するよう受け部材4が配置されている。受け部材4の外径は、回転工具1の外径以上に設計されている。

【0028】回転工具1は直径φ1が10～15mm程度である。回転工具1及び受け部材4は、金属部材よりも硬度の高い鋼材（超硬合金等）で形成された非摩擦型工具であるが、金属部材は回転工具1より軟質の材質であれば、アルミニウム合金に限定されない。

【0029】また、図3にも示すように、回転工具1は、先端部3の略中央に凹部3aが形成されている。また、受け部材4の先端部5の略中央にも凹部5aが形成されている。

【0030】尚、回転工具1の凹部3aと受け部材4の凹部5aとは、いずれか一方又は両方に設けることができる。

【0031】回転工具1は、後述する多関節ロボット10のアームに回転可能に取り付けられ、接合される金属部材が複雑な3次元形状の場合、複数点に在る接合部分に対してスポット的に（局所的に）接合できるよう構成されている。

【0032】図2は、回転工具を保持及び駆動する多関節ロボットの概略図である。

【0033】図2に示すように、多関節ロボット10は、ベース11に設けられた関節12に連結されてy軸中心に揺動すると共に、関節13でz軸中心に回転する第1アーム14と、関節15を介して第1アーム14に連結されてy軸中心に揺動すると共に、関節16でx軸中心に回転する第2アーム17と、関節18を介して第2アーム17に連結されてy軸中心に揺動する第3アーム19とを有する。

【0034】第3アーム19は、回転工具1が回転可能に取り付けられると共に、回転工具1を回転駆動するモータ20と、回転工具1の先端部3に対向するよう配置される受け部材4とを備える。回転工具1の先端部3と受け部材4の先端部との間隔はアクチュエータ22により可変となっており、接合時の金属部材に対する押圧力や3枚以上重ね合わせた金属部材でも対応できるよう設計されている。

【0035】多関節ロボット10の各アーム、モータ、アクチュエータの動作は、予めティーチングされて制御部30がコントロールする。

【0036】回転工具1の金属部材に対する押圧力は、金属部材の総板厚や重ね合わせ枚数等に基づいて接合部分ごとに設定され、個々の金属部材の板厚が異なる場合にも適用できる。

【0037】また、図4に示すように、3枚以上の第1乃至第3金属部材W1～W3を接合する場合には、同一外径を有する一対の回転工具1A、1Bで金属部材を挟み込んで接合する。この場合、図2の受け部材4に代えて回転工具1Bを回転可能に多関節ロボット10に取り付けて、互いに対向する回転工具1A、1Bの先端部3A、3Bで第1乃至第3金属部材W1～W3を挟み込みながら、各回転工具1A、1Bを逆回転させる。

【0038】また、第1及び第2金属部材W1、W2の板厚が異なる場合でも接合可能であるが、特に、薄肉側から回転工具1を押圧させるとより攪拌しやすくなり、均一な接合処理が実現できる。〔接合時の金属組織の塑性流動〕図5は、回転工具の先端部が平滑な場合の金属部材内部の塑性流動状態を示す図である。図6は、回転工具の先端部に凹部を形成した場合の金属部材内部の塑性流動状態を示す図である。

【0039】図5に示すように、先端部3が平滑な回転工具1を用いた場合（受け部材4の先端部5は、説明の便宜上平滑とする）、所定回転数で回転する回転工具1を第1金属部材W1に略垂直に押し当てていくと、回転工具1と第1金属部材W1との間に摩擦が生じて、その表面が軟化して第1及び第2金属部材W1、W2間の金属組織が非溶融の状態で回転方向に攪拌されていく。そして、更に回転工具1による第1金属部材W1に対する押圧力を高めていくと、回転工具1に非接触の金属部材W2にまで非溶融の摩擦攪拌層が拡大して、最終的に重ね合わされた第1及び第2金属部材W1、W2が溶融されることなく接合される。

【0040】図6に示すように、先端部3に凹部3aが形成された回転工具1を用いた場合（受け部材4の先端部5は、説明の便宜上平滑とする）、所定回転数で回転する回転工具1を第1金属部材W1に略垂直に押し当てていくと、回転工具1と第1金属部材W1との間に摩擦が生じて、その表面が軟化して第1及び第2金属部材W1、W2間の金属組織が非溶融の状態で回転方向に攪拌されていく。そして、更に回転工具1による第1金属部材W1に対する押圧力を高めていくと、回転工具1に非接触の第2金属部材W2にまで非溶融の摩擦攪拌層が拡大し始める。このとき、金属組織は工具1の回転方向に攪拌されると共に、凹部3a内で肉厚方向（金属部材の接合面と交差する方向）に攪拌されて、最終的に重ね合わされた第1及び第2金属部材W1、W2が溶融されることなく接合される。

【0041】また、回転工具1の凹部3aは攪拌される金属組織の周速が略ゼロとなる凹部内での塑性流動を促進し、受け部材4の凹部5aを設けた場合には回転工具

1に接触しない金属部材の塑性流動を促進する。

【0042】上述のように、回転工具1の先端部3に凹部3aを設けた場合には、接合すべき金属組織の全てが十分に攪拌されて、接合強度が高まるのに対して、凹部3aを設けずに平滑な場合には、金属部材の接合面と交差する方向への攪拌が不十分なため、接合強度は弱いものとなる。

〔試験結果〕本実施形態の接合処理では、金属部材としてJISで規格化された6000系鋼板（Al-Mg-Si鋼板）を一例として用いるが、5000系鋼板（Al-Mg鋼板）や他の金属材料でも適用可能である。

【0043】図7は、本実施形態の非溶融摩擦攪拌による接合強度試験方法を示す図である。図8は、図7の接合強度試験方法による結果を示す図である。

【0044】図7の接合強度試験は、接合された第1及び第2金属部材W1、W2を互いに相反する方向に引張って、接合面が剥がれた時点での引張力を接合強度として測定している。

【0045】また、接合条件は、工具回転数が2000rpm、回転工具1の先端部3の直径がφ10mm、押圧保持時間は0.2mm押し込み後の時間、金属部材は6000系、板厚が1mmのものをを用いた。

【0046】図8に示すように、先端部3に凹部3aが形成された回転工具1を用いた方が、先端部3が平滑な工具の場合に比べて、接合強度が高くなって要求強度を満たす。

【0047】また、先端部3が平滑な工具の場合では、図15に示すように、破壊時に金属部材の接合面から剥がれる剥離破断となるのに対して、先端部3に凹部3aが形成された工具を用いた場合には、図13及び図14に示すように、破壊時に接合面は剥がれずに、回転工具1の周囲に対応する部分Waから破断するボタン破断となるため、接合強度が高いことがわかる。

【0048】更に、図16乃至図19に示すように、先端部3に凹部3aが形成された工具を用いて接合した場合には、金属組織の接合界面が均一になるよう十分攪拌されて接合されるため、接合強度が高くなる。

【0049】また、回転工具1の金属部材に対する押圧保持時間が長いほど接合強度は高くなるが、約10秒以上押圧保持すると、先端部3に凹部3aが形成された回転工具1を用いた場合でも、先端部3が平滑な工具の場合でも接合強度は略同じとなる。

〔金属部材形状〕本実施形態では、予め3次元形状にプレス成形された金属部材の接合に適している。即ち、図9に示す自動車の車体フレームW1と補強部材W2の接合のように、プレス成形により金属部材が複雑な3次元形状を有し、回転工具1を連続して移動できないような複数点に在る接合部分Pに対して、本実施形態の接合方法を用いることにより局所的に溶接でき、プレス成形後であっても接合可能となる。

〔連続接合〕上記実施形態では、回転工具1を接合部分に押圧して移動させないスポット接合の例を説明したが、図10に示すように、回転工具1を前進又は揺動させながら連続的に接合してもよい。

【0050】図10で回転工具1を前進させる場合には、図11に示すように、前進方向に対して後方に約1°傾斜させて移動させると、金属部材W1に垂直に押し当てる場合に比べて傾斜した分だけ撈拌性が向上する。

〔変形例〕本実施形態の変形例として、金属部材の歪みを抑制するために、金属部材の接合部分を冷却しながら接合することもできる。冷却方法としては、冷却水中で接合したり、接合部分に冷却水を供給すればよい。

【0051】また、接合時に金属部材に発生するばりWb（図13参照）を取り除くために、図12に示すように、回転工具1の先端近傍の側面に拡径部1aを形成してもよい。拡径部1aの軸心方向の位置は、金属部材に押し込まれる先端部3の押し込み量だけ上方に形成される。また、拡径部1aを金属部材を抑えるために用いてもよい。

〔表面処理〕本実施形態の接合技術は、金属部材の表面処理にも応用できる。

【0052】表面処理ではアルミニウム合金製鋳物を対象とし、特に自動車のシリンダヘッドに形成される隣り合うポート間（弁間部）やピストン、ブレーキディスク等の表面改質処理に用いられ、アルミニウム合金製鋳物の表面改質領域を摩擦熱により溶融させることなく撈拌させることにより、金属組織の微細化や共晶シリコン（Si）粒子の均一分散化、鑄造欠陥の減少を図り、熱疲労（低サイクル疲労）寿命や伸び、耐衝撃性等の材料特性において従来のリメルト処理以上のものを得ることができる。

【0053】また、本実施形態の表面処理では、図20に示すように、JISで規格化されたアルミニウム合金であるAC4Dを一例として用いるが、アルミニウム合金鋳物としては、アルミニウム合金のマグネシウム（Mg）含有率として0.2～1.5重量%、シリコン（Si）含有率として1～24重量%、好ましくは4～13重量%の範囲で組成比率を変更可能である。他にAC4B、AC2B、ピストンに用いるAC8A等も利用できる。シリコン含有率の上限を24%に設定する理由は、それ以上シリコンを増加しても材料特性や鑄造性が飽和すると共に、撈拌性が悪化するからである。

【0054】マグネシウムを含有するアルミニウム合金鋳物は、熱処理により $Mg_2Si$ を析出させて強度が高まる。ところが、リメルト処理のように溶融させて金属組織を微細化させる場合には、低融点（650℃）のマグネシウムが蒸発して含有量が低下することがある。そして、マグネシウム含有量が低下すると熱処理を施しても硬さや強度が低下して所望の材料特性が得られないことになる。

【0055】一方、摩擦撈拌による表面処理では、金属組織を溶融させないのでマグネシウムが蒸発することもないため、アルミニウム合金鋳物は熱処理により $Mg_2Si$ を析出させて強度が高められるのである。

【0056】アルミニウム合金にシリコンを添加することにより、鑄造性（溶湯の流動性、引け特性、耐熱間割れ性）は向上するが、共晶シリコンが一種の欠陥として作用して機械的特性（伸び）が低下する。

【0057】共晶シリコンは硬くて脆く、亀裂発生起点や伝播経路となるため伸びが低下する。また、弁間部のように繰り返して熱応力を受ける部位ではその疲労寿命が低下する。そして、金属組織ではデンドライトに沿って共晶シリコンが連なった形態を呈しているが、共晶シリコンを微細化し、均一に分散させることによって応力集中による亀裂の発生と、発生した亀裂の伝播を抑制することが可能となる。

【0058】図21は、表面処理への適用例として、自動車のシリンダヘッドに形成される隣り合うポート間（弁間部）の表面改質処理方法を説明する図である。

【0059】図21に示すように、表面改質処理は、回転工具1を隣り合うポートの弁間部において、処理軌跡F1～F3に沿って弁間部を縦断するよう摩擦により撈拌しながら移動させる。

【0060】尚、本発明は、その趣旨を逸脱しない範囲で上記実施形態を修正又は変形したものに適用可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る実施形態の重ね合わせ接合方法を説明する回転工具付近の拡大図である。

【図2】回転工具を保持及び駆動する多関節ロボットの概略図である。

【図3】金属部材の接合方法を説明する図である。

【図4】3枚以上の金属部材の接合方法を説明する図である。

【図5】回転工具の先端部が平滑な場合の金属部材内部の塑性流動状態を示す図である。

【図6】回転工具の先端部に凹部を形成した場合の金属部材内部の塑性流動状態を示す図である。

【図7】本実施形態の非溶融摩擦撈拌による接合強度試験方法を示す図である。

【図8】図7の接合強度試験方法による結果を示す図である。

【図9】予め3次元形状にプレス成形された金属部材として、自動車の車体フレームを接合する場合について示す図である。

【図10】回転工具を前進させながら連続的に接合する場合を説明する回転工具付近の拡大図である。

【図11】回転工具を前進させながら連続的に接合する場合の金属部材の接合方法を説明する図である。

【図12】本実施形態の回転工具の変形例として、工具

の外周に拡径部を形成した回転工具を示す図である。

【図13】本実施形態により接合された金属部材の接合部分の金属組織を示す断面図である。

【図14】接合強度試験によるボタン破断時の金属部材の状態を示す図である。

【図15】接合強度試験による剥離破断時の金属部材の状態を示す図である。

【図16】図13に対応し、本実施形態により接合された金属部材の接合部分の金属組織の断面写真を示す図である。

【図17】図16のI部の拡大写真を示す図である。

【図18】図17のII部の金属部材の金属組織の断面写真を示す図である。

【図19】図18の拡大写真を示す図である。

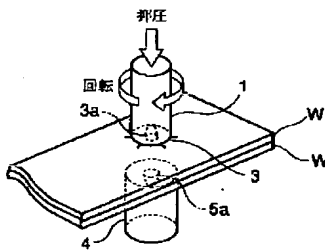
【図20】表面処理に用いるアルミニウム合金鑄物の成分比率を示す図である。

【図21】表面処理への適用例として、自動車のシリンダヘッドに形成される隣り合うポート間（弁間部）の表面改質処理方法を説明する図である。

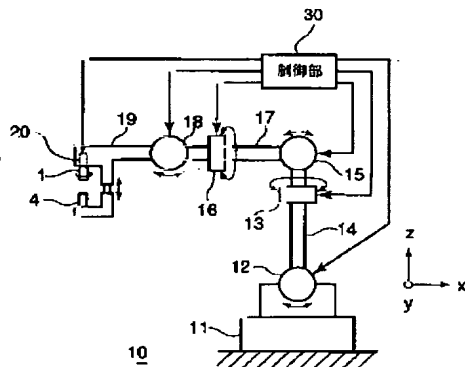
【符号の説明】

- 1 回転工具
- 2 突出部
- 3 先端部
- 4 受け部材
- 10 多関節ロボット
- W1～W3 金属部材

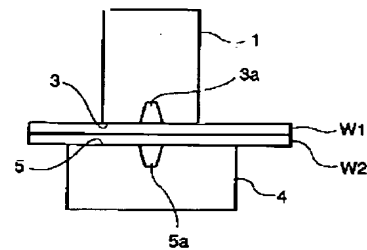
【図1】



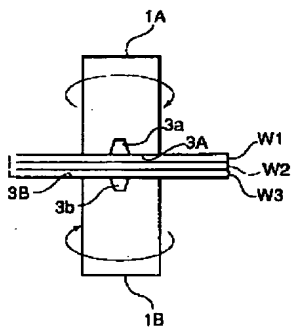
【図2】



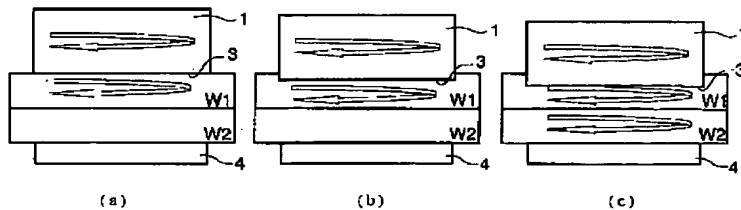
【図3】



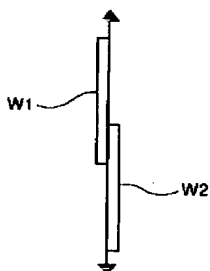
【図4】



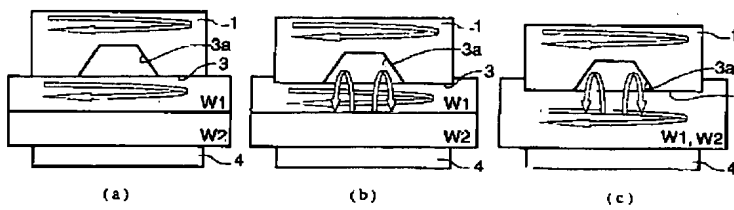
【図5】



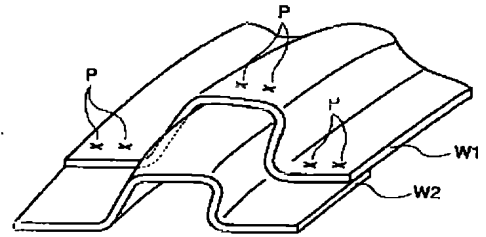
【図7】



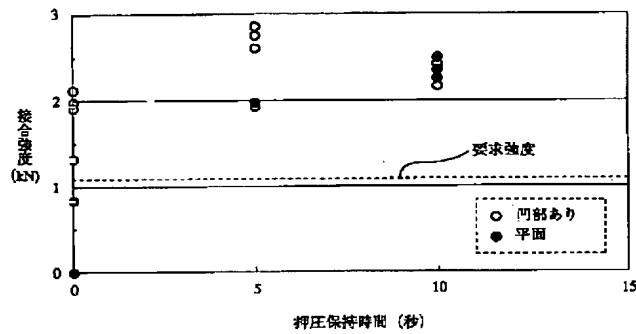
【図6】



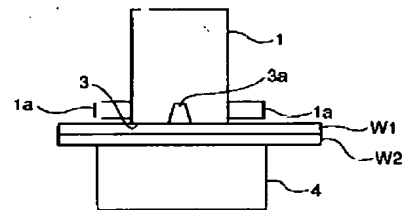
【図9】



【図8】



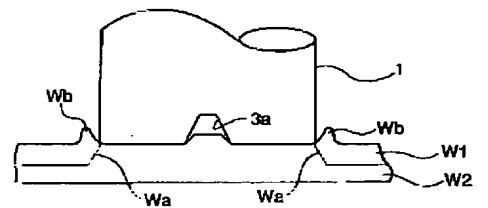
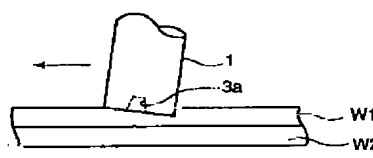
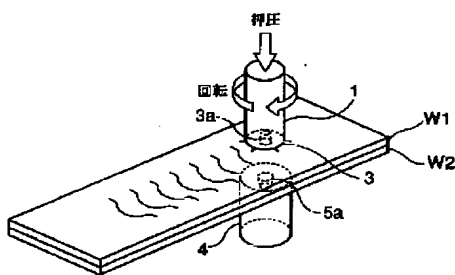
【図12】



【図13】

【図10】

【図11】

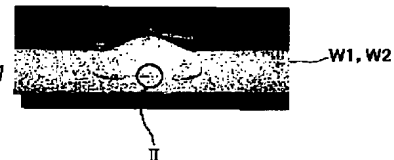
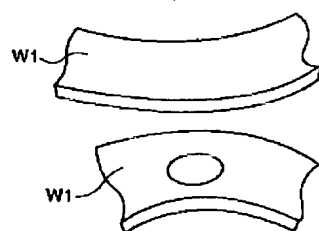
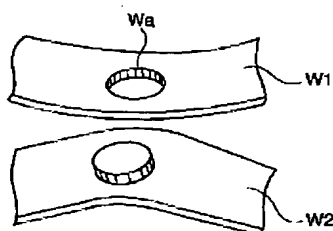


【図16】

【図14】

【図15】

【図17】





【図18】



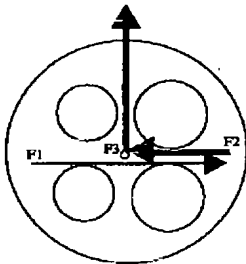
【図19】



【図20】

記号	化学成分 (質量%)							
	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ti	Al
AC4D	1.0~1.5	4.5~5.5	0.4~0.6	≦0.3	≦0.6	≦0.5	≦0.2	残

【図21】



BEST AVAILABLE COPY